

ЭНЕРГИЯ

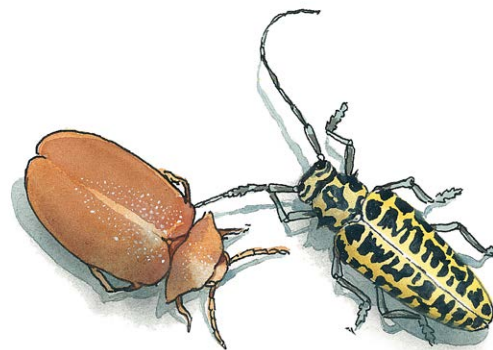
Свет для жизни



Каждый день Солнце испускает бесчисленное количество фотонов — частиц света, преодолевающих 150 миллионов километров в безвоздушном пространстве и сталкивающихся с Землей. Здесь энергия света превращается в тепловую энергию, которая возбуждает молекулы воздуха, воды, песка, камней. В этом энергетическом потоке процветает жизнь. Она превращает часть энергии в структуры, которые могут двигаться, расти и размножаться. Это возможно потому, что жизнь научилась с помощью солнечной энергии делать энергоемкие молекулы, необходимые, в свою очередь, для связывания простых молекул в сложные длинные цепочки. Таким образом, растительную и животную жизнь на Земле можно представить как упорядоченное собрание молекул, соединенных связями, возникшими благодаря пойманной энергии.

Эта глава разделена на две равные части. Сначала мы рассмотрим азы химии, познакомимся с важнейшими молекулами и потоком энергии жизни. Этого будет достаточно, чтобы понять все упоминания энергии, встречающиеся в этой книге. Если тебе интересны подробности, во второй половине главы (начиная со страницы 78) мы шаг за шагом объясним, как жизнь получает, запасает и потребляет энергию. Предупреждаем: этот материал у нас не получилось упростить. К сожалению, жизнь — сложная штука.

Растения, животные и микроорганизмы образуют огромный клеточный ковер, разостланный по земному шару. Его нужно постоянно подпитывать энергией солнечного света, большая часть которой в итоге выделяется в виде тепла.



Образование связей



ХАОТИЧНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

Центральный вокзал Нью-Йорка вечно переполнен спешащими по своим делам пассажирами. Они движутся хаотично и неизбежно сталкиваются. Представь на секунду, что некоторые удары такие сильные, что люди склеиваются! Атомы ведут себя схожим образом и постоянно сталкиваются друг с другом. При правильных условиях и достаточной силе удара между ними образуется химическая связь и рождается молекула. Такие химические реакции лежат в основе всего, что происходит вокруг и внутри нас.

Иногда сильные столкновения могут связать атомы в молекулы...



...теоретически последовательные столкновения могут образовать цепочку молекул.





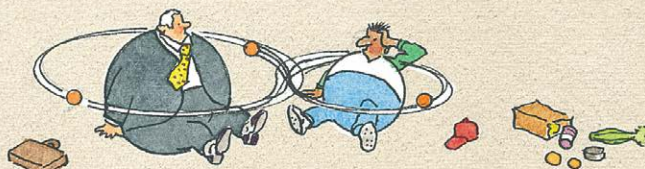
Атомы состоят из отрицательно заряженных электронов, вращающихся вокруг положительно заряженного ядра.



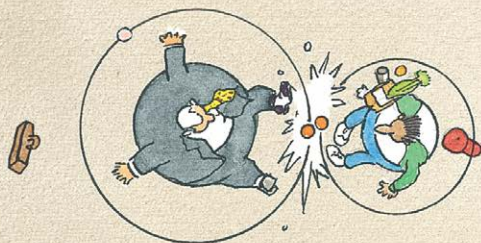
Когда атомы сталкиваются, они обычно отталкиваются друг от друга, так как отрицательно заряженные электроны отталкиваются друг от друга.



Если столкновение достаточно сильное, электроны перегруппировываются и обобществляются...



...общие электроны вращаются иногда вокруг одного ядра, иногда — вокруг другого. Это называется ковалентной связью.



Объединенные атомы образуют молекулу.



Другой способ представить ковалентную связь: две электронные орбитали, или «оболочки», соединенные вместе.

Число положительно заряженных протонов в ядре атома равно числу отрицательно заряженных электронов, вращающихся на орбиталях вокруг ядра. Таким образом, в целом атомы заряда не имеют. В атомах разных элементов разное число протонов и, следовательно, электронов, поэтому размер и масса атомов неодинаковы. Атом кислорода, например, имеет восемь протонов, углерода — шесть, водорода — всего один. Во Вселенной имеется более ста элементов, но для жизни важны примерно двадцать из них.



КАК АТОМЫ СВЯЗЫВАЮТСЯ МЕЖДУ СОБОЙ

Давай присмотримся к атому поближе. Он состоит из положительно заряженного ядра, образованного положительно заряженными протонами и незаряженными нейтронами, а вокруг ядра энергично вращаются быстрые отрицательно заряженные электроны. Когда атомы встречаются — как пассажиры на вокзале, — вращающиеся вокруг них электроны начинают отталкиваться, так как имеют одинаковый заряд. Однако атомы, мчащиеся сквозь пространство, обладают так называемой кинетической энергией — энергией движения. Если при столкновении она преодолит сопротивление электронов, произойдет химическая реакция и атомы объединятся. При этом электроны перегруппировываются, и некоторые из них обобществляются, образуя так называемую ковалентную связь. Эти сильные связи удерживают в молекулах важнейшие атомы жизни — углерод, водород, кислород, азот, фосфор и серу — и соединяют простые молекулы в цепочки.

В связях сохраняется энергия, которая была потрачена на их создание. Ее можно использовать, чтобы подпитывать деятельность клетки и выполнять главные задачи жизни: движение, рост и размножение.

Молекулярные изменения



РАЗРЫВ СВЯЗЕЙ

Вернемся на Центральный вокзал. Зал теперь наполнен «молекулами» — атомами-человечками, которые сцепились друг с другом в результате предыдущих столкновений. В постоянной толчее и спешке к поездам молекулы тоже сталкиваются друг с другом. Обычно это ни к чему не приводит, но если удар оказывается сильным и происходит под определенным углом, то связи между молекулами разрываются. В таком случае спаренные электроны возвращаются на исходные орбитали, а энергия связи выделяется в виде тепла.

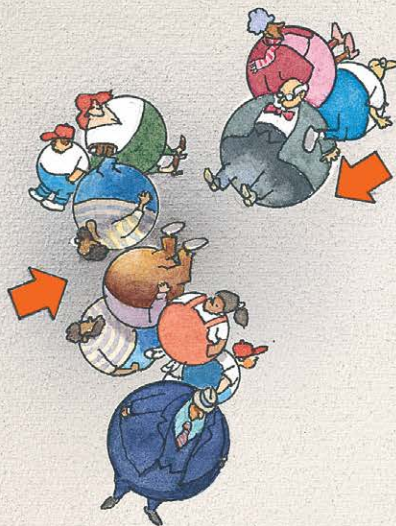
Клеткам нужно уметь разрывать химические связи, чтобы перегруппировывать одни молекулы и избавляться от других, уже ненужных.

Иногда сильные столкновения разрывают связь.



Энергия выделяется в виде тепла.

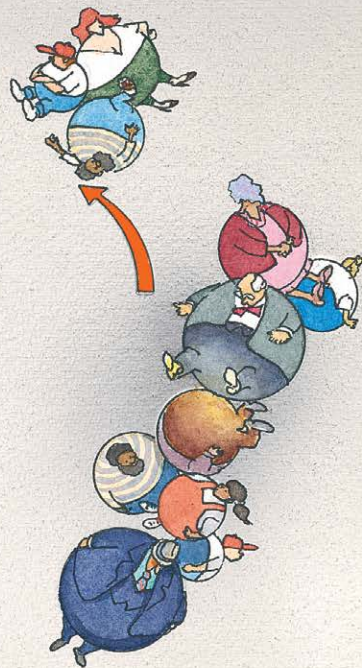
Энергия переходит от одной связи к другой



Сейчас высокоэнергетическая молекула столкнется с молекулой, летящей справа.



Если столкновение произойдет в правильном месте и под определенным углом, ключевая связь в высокоэнергетической молекуле разорвется...



...и энергия перейдет к новой молекуле, а часть высокоэнергетической молекулы отсоединится.

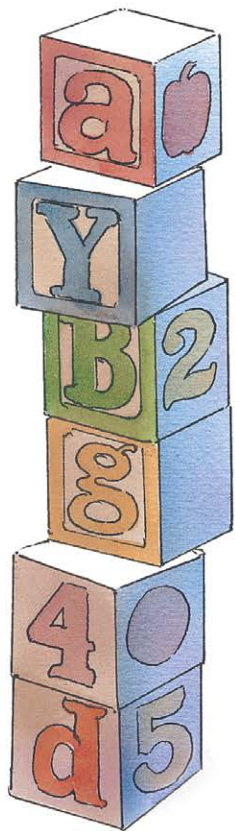


Жизнь существует благодаря огромному разнообразию молекулярных комбинаций. Используя в основном углерод, водород, кислород, азот, фосфор и серу, она образует все свои простые молекулы и почти бесконечное разнообразие биополимеров.

ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ

Связи в некоторых видах молекул содержат очень много энергии и поэтому крайне важны. При разрушении такой связи ее энергия может передаваться другим молекулам, а не улечься в виде тепла: она теперь будет сохраняться в связи, образовавшейся между высокоэнергетической молекулой и новой молекулой, получившей энергию. Все важные процессы в клетке, например строительство и движение, выполняют крупные молекулы белков — «рабочих» жизни, которые управляют энергетическими потоками. Когда птица взмахивает крылом, у клена растет ветка, а моллюск открывает створки раковины, энергия передается от связей к связям. Буквально все, что происходит в живых клетках, — это результат различных сочетаний разрыва и создания связей и переноса энергии.

Жизнь и законы энергии



Это порядок...

...а это беспорядок.



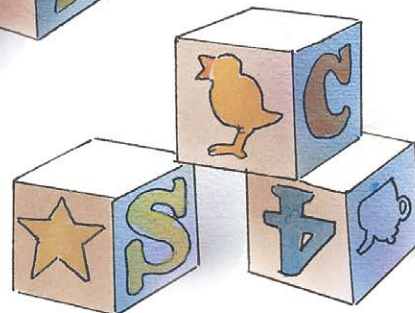
Может показаться странным, что во Вселенной, где материя и энергия рассредоточиваются, жизнь организуется и усложняется. Это противоречие символически показано на рисунке справа. Однако на следующей странице мы объясним, что это скорее иллюзия, чем реальность.

БЕГ ВВЕРХ ПО СКЛОНУ

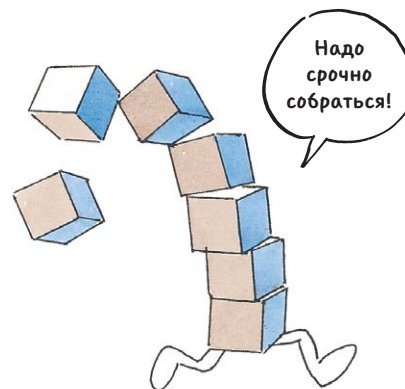
Невероятно, но все химические процессы жизни и вообще вся энергия и материя во Вселенной следуют простым законам — началам термодинамики. Первое начало термодинамики гласит, что энергия получается и теряется в ходе химических процессов, она переходит из одной формы в другую, но не может возникнуть и исчезнуть. Приобретение и потеря энергии должны быть сбалансированы. Второе начало термодинамики говорит о том, что энергия неизбежно рассеивается и рассредоточивается, то есть переходит из более пригодных к использованию форм, например фотонов и связей, в менее пригодную, а именно в тепло. Стремление энергии к рассеиванию, а упорядоченных структур — к беспорядку называют энтропией, и физики утверждают, что энтропия Вселенной увеличивается.

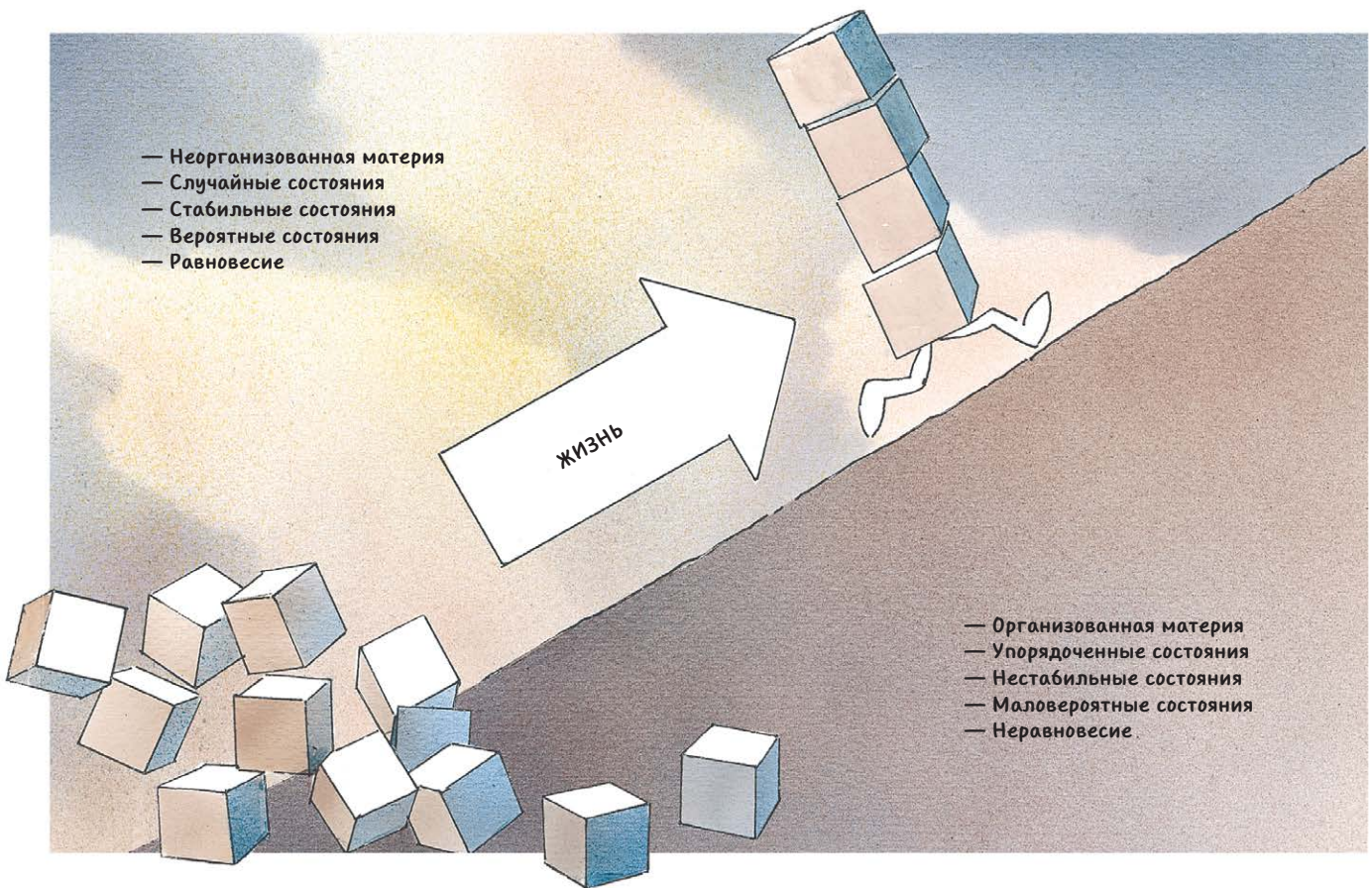
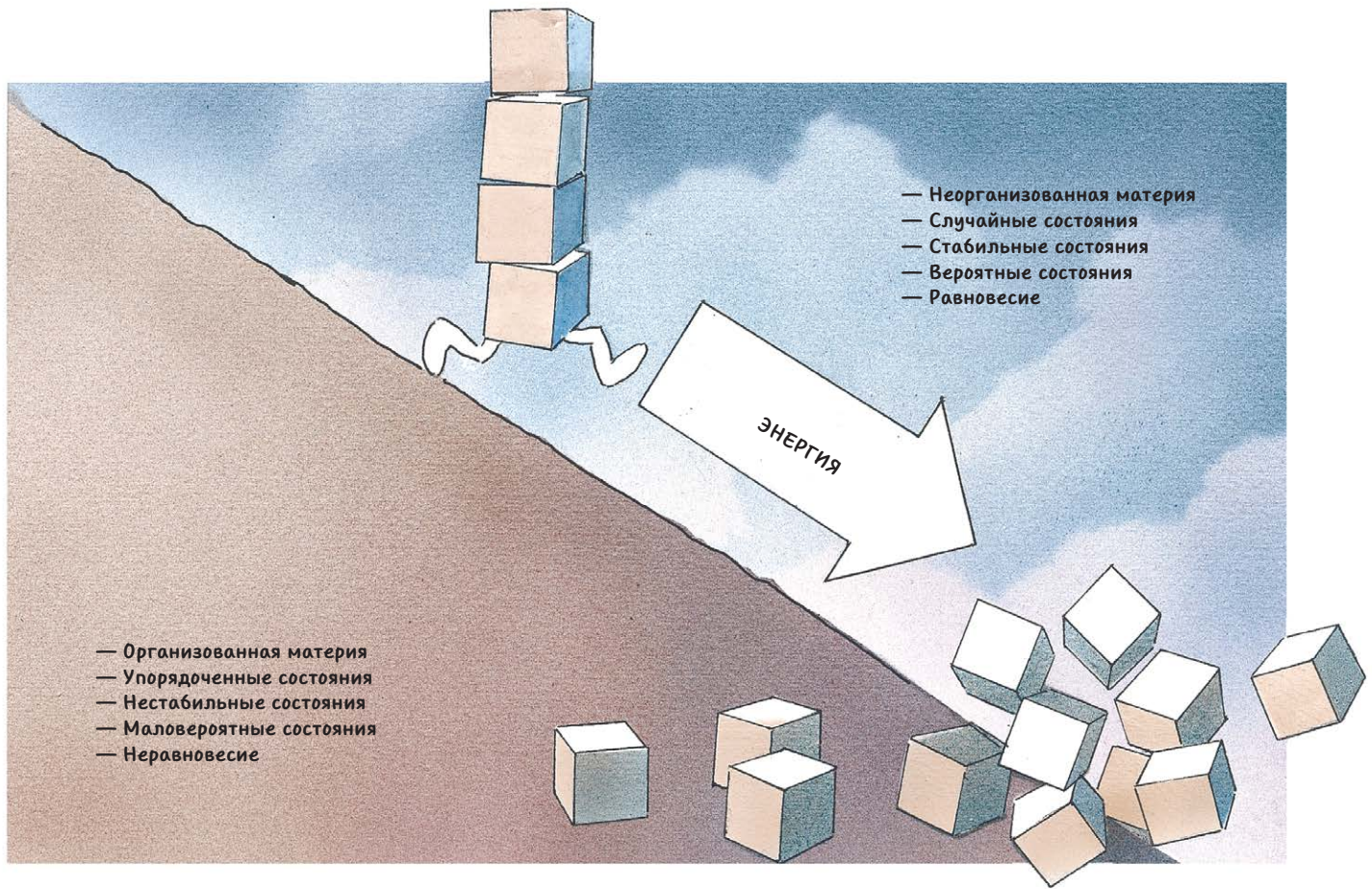
Здесь кроется загадка: раз энергия во Вселенной рассеивается и в целом все катится вниз по склону, почему жизнь идет в другом направлении? Ведь, как ни странно, вопреки рассеиванию энергии, жизнь становится все более упорядоченной и сложной. Как ей удастся строить что-то с помощью энергии, которую тянет вниз?

Рассматривая этот вопрос, надо подчеркнуть, что жизнь не может обойти фундаментальные законы природы и противоречить им. Она просто учится использовать их в своих интересах.



Как правило, все движется от порядка к беспорядку.





Жизнь и законы энергии (продолжение)

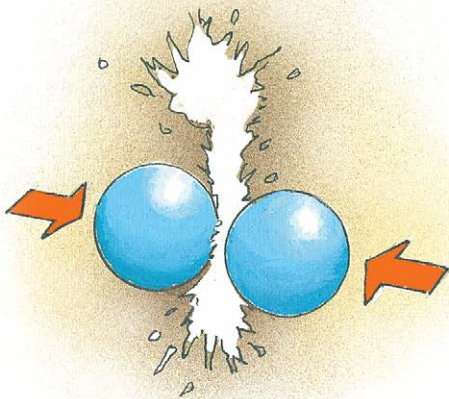
ПЛЮСЫ ВТОРОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ

Только подумай, как нам повезло с планетой. Земля вращается на таком расстоянии от Солнца, что имеет неограниченный, постоянный источник энергии и при этом не слишком нагревается. Поток солнечного света и тепла идет к нам, а затем уходит в безмолвный холод космоса, где температура приближается к абсолютному нулю ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Этот нескончаемый поток, описываемый вторым началом термодинамики, поддерживает на Земле комфортные условия и одновременно дает энергию*, благодаря которой легко происходят образование и разрыв связей, а также передача энергии. Все эти действия и изменения происходят именно потому, что энергия стремится к более рассеянному состоянию. Когда она достигнет этой цели, все процессы остановятся: движение замрет, исчезнут направления. Перестанет существовать даже время.

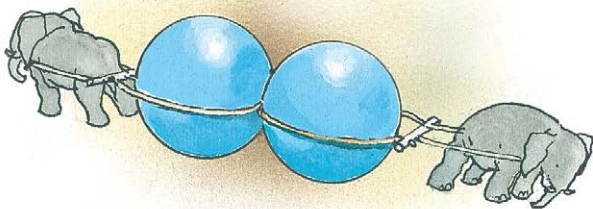
Давай подробнее разберем этот динамичный процесс. При возникновении связи между простыми молекулами жизни часть энергии уходит на соединение, а часть рассеивается в виде тепла. Другими словами, для создания связи нужно больше энергии, чем она будет содержать. Избыток уходит в среду. Это пустая на вид трата, обусловленная вторым началом термодинамики, имеет и свои плюсы. Представь, что энергия не рассеивалась бы, а оставалась рядом. В таком случае она легко возвращалась бы и разрушала новую связь. Рассеивание тепла обеспечивает стабильность образовавшихся молекул и однонаправленность процесса строительства. Благодаря связям между молекулами можно создавать информацию, а та, в свою очередь, влечет за собой порядок. Таким образом, при движении энергии «вниз по склону» происходит накопление информации и сложность растет как снежный ком.

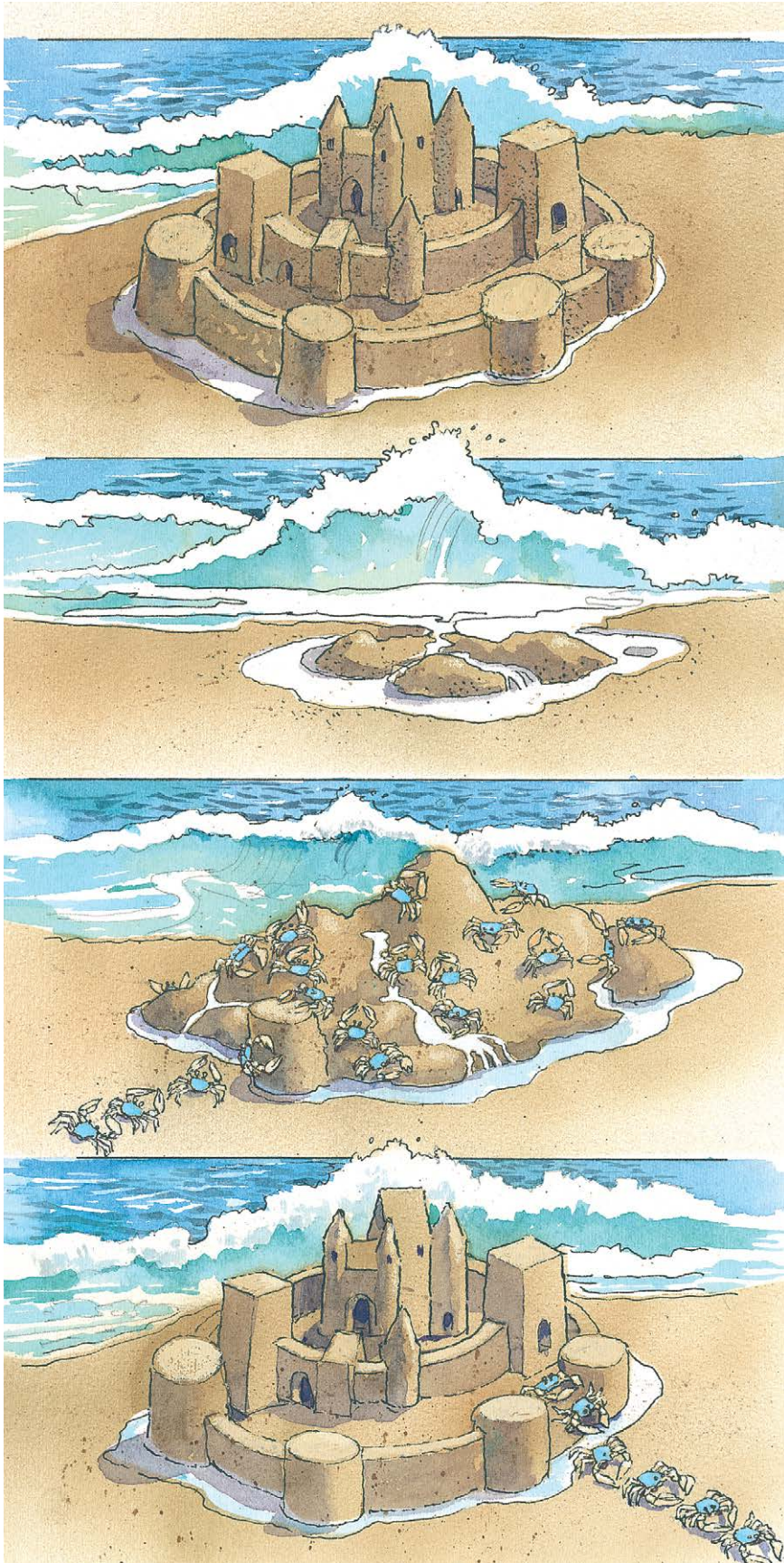
Из этого следует, что второе начало термодинамики не угрожает жизни. Оно гарантирует: 1) постоянный поток пригодной к использованию солнечной энергии, 2) стабильность молекул, из которых можно строить другие молекулы, и 3) сборку информационных цепочек (см. следующую главу). Чтобы двигаться вверх по склону, не нужны какие-то особые трюки. Требуются только упорное, настойчивое восстановление и перестройка на молекулярном уровне (посмотри на крабов, строящих замок на рисунке справа).

Часть энергии, идущей на создание связей, рассеивается в виде тепла.



Это обеспечивает стабильность связей: для их разрушения требуется как минимум столько же энергии, сколько ушло на ее создание.





Словно замок из песка

Замок из песка — зримая аналогия энтропии. Мощные силы природы — волны — неумолимо превращают его в случайное скопление песчинок, из которых он сделан.

В неживой природе разрушенное останется разрушенным.

Жизнь не может ни обойти, ни перехитрить второе начало термодинамики, но способна некоторое время сопротивляться наступлению хаоса. Представь на секунду, что после каждой волны колония крабов бросается к замку и начинает так энергично его ремонтировать, что к следующей волне полностью восстанавливает.

Конечно, крабы так себя не ведут, но в живых системах есть белки, которые занимаются перестройкой. Для их деятельности нужен постоянный приток солнечной энергии, которая превращается в высокоэнергетические связи. В живой природе разрушенное, как правило, восстанавливается.

Жизнь и законы энергии (продолжение)



Сначала молекулы сливок и молекулы кофе разделены (чашка показана в разрезе).



В результате случайных движений и столкновений сливки распределяются по чашке.



Со временем молекулы сливок рассеиваются по всему объему кофе.

ПОТОК ЭНЕРГИИ И РАВНОВЕСИЕ

Жизнь — это большой мешок химических реакций.

Представь, что ты можешь уменьшиться до миниатюрных размеров и своими глазами увидеть, как эти реакции происходят. Сейчас из нескольких маленьких молекул клетка сделает одну большую.

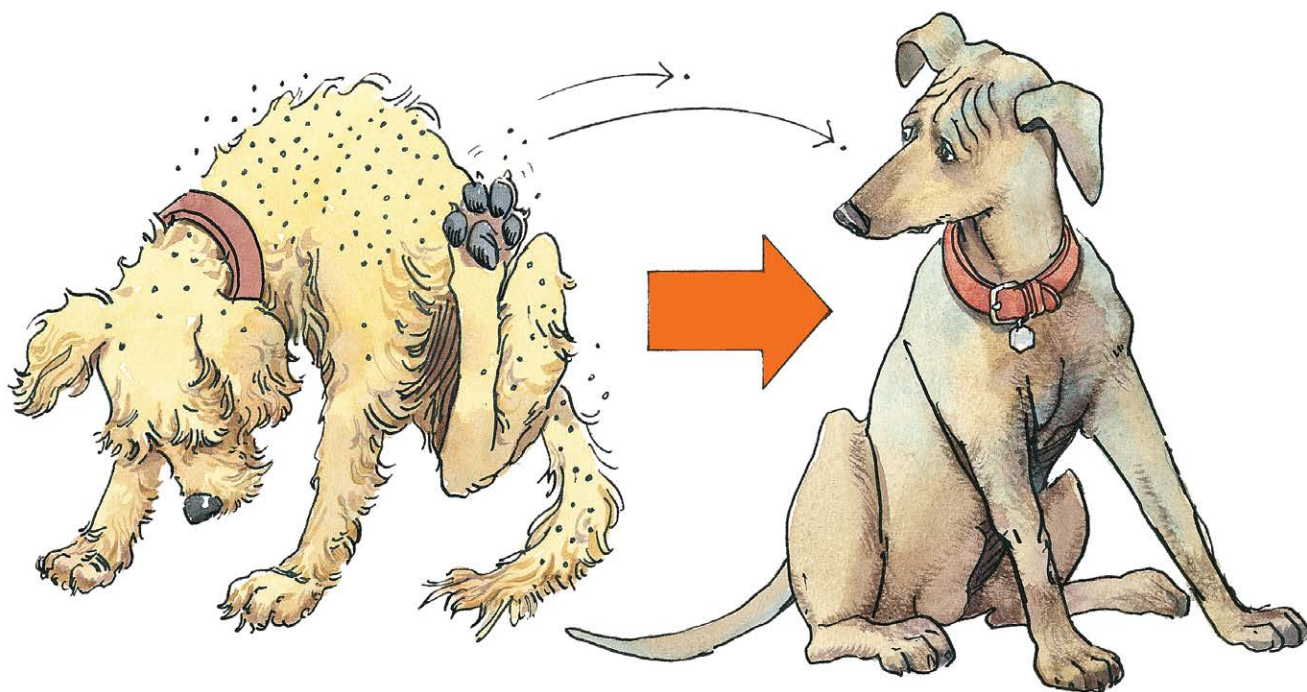
Молекулы или атомы, вступающие в химическую реакцию, называют реагентами, а те, которые возникают в результате, — продуктами. Не забывай, что обычно речь идет о миллионах молекул, которые постоянно движутся и сталкиваются друг с другом в тесном пространстве. Чем больше молекул (как людей в вокзальной толчее), тем больше будет столкновений и, следовательно, тем больше вероятность, что произойдет химическая перегруппировка.

В начале реакции реагентов очень много, а продуктов нет совсем. Но за считанные секунды миллионы молекул реагентов превращаются в продукты. По мере накопления продуктов процесс начинает замедляться. Наконец энергия, запасенная в реагентах и продуктах, выравнивается, и продукты перестают накапливаться. Тем не менее молекулы продолжают реагировать друг с другом: столкновения все еще превращают реагенты в продукты, но теперь такое же число столкновений превращает продукты обратно в реагенты. Когда энергетические потоки столь же охотно идут вперед, как и назад, общих изменений не происходит. Такое положение дел называют равновесием. (Покусанные блохами собаки на картинке справа иллюстрируют этот принцип.) Вообще говоря, жизнь не терпит равновесия, потому что в таком случае клетки перестают работать и умирают. Живые клетки неустанно добавляют реагенты и удаляют продукты, чтобы поддерживать себя в далеком от равновесия состоянии.

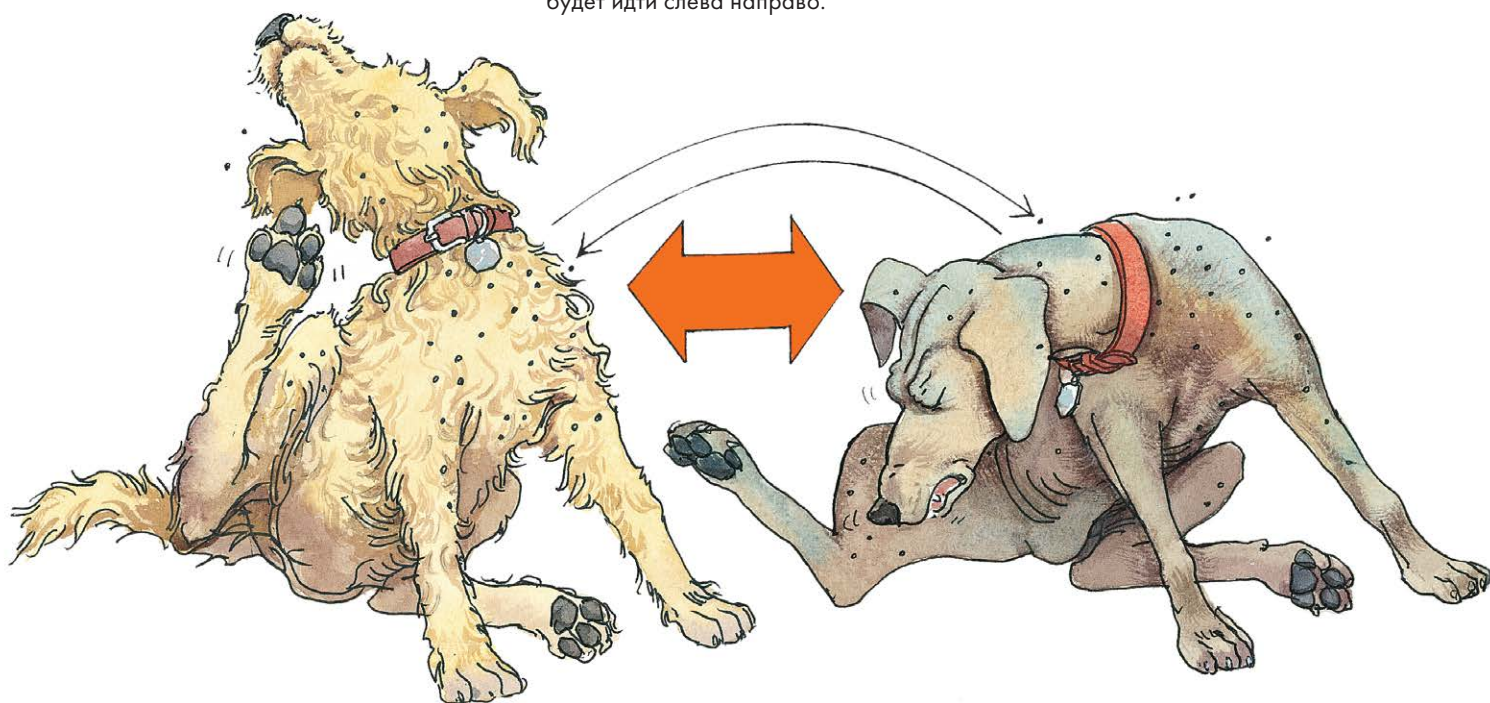
Не перемешивать

Второе начало термодинамики можно проиллюстрировать добавлением сливок в кофе. Если молекулы сливок как следует рассеялись, они останутся в таком состоянии. Вероятность того, что они снова всплывут на поверхность, практически нулевая. Молекулы сливок продолжают двигаться и натекать на другие молекулы, но при этом они распределены более или менее равномерно.

Как собаки делятся блохами



Представь себе, что блохи одинаково охотно перепрыгивают с собаки на собаку. Если изначально все блохи сидят на левой собаке, то в целом блошинный поток будет идти слева направо.



Со временем блохи распределятся между собаками поровну и ситуация стабилизируется, хотя некоторые блохи будут прыгать туда-сюда в том же количестве, что и раньше. Это и есть равновесие. Чтобы заставить поток блох двинуться слева направо, нужно посадить больше блох на собаку слева или убрать блох с правой собаки.